PATENT
2927-0154P

IN THE U.S. PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant:	MIYAMOTO, Kazuyoshi et al	Conf.:	
Appl. No.:	NEW	Group:	
Filed:	October 9, 2003	Examiner:	

For: METHOD OF COMPUTING ENERGY LOSS GENERATED IN VISCOELASTIC MATERIAL AND METHOD FOR EVALUATING ENERGY LOSS OF GOLF BALL BY USING METHOD OF COMPUTING ENERGY LOSS

L E T T E R

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

October 9, 2003

Sir:

Under the provisions of 35 U.S.C. § 119 and 37 C.F.R. § 1.55(a), the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on the following application(s):

Country	Application No.	Filed
JAPAN	2002-298653	October 11, 2002

A certified copy of the above-noted application(s) is(are) attached hereto.

If necessary, the Commissioner is hereby authorized in this, concurrent, and future replies, to charge payment or credit any overpayment to Deposit Account No. 02-2448 for any additional fee required under 37 C.F.R. §§ 1.16 or 1.17; particularly, extension of time fees.

Respectfully submitted,

BIRCH, STEWART, KOLASCH & BIRCH, LLP

By _____
Andrew D. Meikle, #32,868

P.O. Box 747
Falls Church, VA 22040-0747
(703) 205-8000

ADM/tmr
2927-0154P

Attachment(s)

(Rev. 09/30/03)

MIYAMOTO et al
BSKB LLP
703-205-8000
October 9, 2003
2927-0154P
1 OF 1

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。
This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: ２００２年１０月１１日

出願番号
Application Number: 特願２００２－２９８６５３
[ST. 10/C]: [ＪＰ２００２－２９８６５３]

出願人
Applicant(s): 住友ゴム工業株式会社

２００３年 ８月２９日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office 今井康夫

出証番号 出証特２００３－３０７０６７９

【書類名】　特許願

【整理番号】　14187

【提出日】　平成14年10月11日

【あて先】　特許庁長官殿

【国際特許分類】　G01N　3/30

A63B 37/00

【発明の名称】　粘弾性材料に生じるエネルギーロスの算出方法、及び該方法を用いたゴルフボールのエネルギーロス評価方法

【請求項の数】　5

【発明者】

【住所又は居所】　兵庫県神戸市中央区脇浜町３丁目６番９号　住友ゴム工業株式会社内

【氏名】　宮本　和佳

【発明者】

【住所又は居所】　兵庫県神戸市中央区脇浜町３丁目６番９号　住友ゴム工業株式会社内

【氏名】　白石　正貴

【特許出願人】

【識別番号】　000183233

【氏名又は名称】　住友ゴム工業株式会社

【代理人】

【識別番号】　100072660

【弁理士】

【氏名又は名称】　大和田　和美

【手数料の表示】

【予納台帳番号】　045034

【納付金額】　21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】　明細書　1

【物件名】　図面　1

【物件名】　要約書　1

【包括委任状番号】　9814053

【その他】　なお、図面の内、図６、図８、図９、図１０はカラー付であるから、図６、図８、図９、図１０の見本は物件提出書で、写真は上申書で別途に提出します。見本と写真との二者択一が審査、権利解釈その他において、必要であれば、見本を選択します。

【プルーフの要否】　要

【書類名】　明細書

【発明の名称】　粘弾性材料に生じるエネルギーロスの算出方法、及び該方法を用いたゴルフボールのエネルギーロス評価方法

【特許請求の範囲】

【請求項１】　粘弾性材料で構成される解析対象物について数値解析手法で動的挙動の解析を行い、上記解析対象物の粘性成分により、上記動的挙動時に上記粘弾性材料が損失するエネルギーロスを時々刻々で算出することを特徴とする粘弾性材料に生じるエネルギーロスの算出方法。

【請求項２】　上記数値解析手法を有限要素法解析により行い、上記解析対象物の動的挙動時に粘性によって生じる応力値を用いて上記エネルギーロスを算出している請求項１に記載の粘弾性材料に生じるエネルギーロスの算出方法。

【請求項３】　上記粘性によって生じる応力値は、上記粘弾性材料の粘性成分の粘性抵抗と、上記動的挙動時の粘弾性材料のひずみ速度とにより求めている請求項２に記載の粘弾性材料に生じるエネルギーロスの算出方法。

【請求項４】　上記動的挙動の解析に用いる材料物性データは、該解析対象物の実使用条件下で測定されたデータを用いている請求項１乃至請求項３のいずれか１項に記載の粘弾性材料に生じるエネルギーロスの算出方法。

【請求項５】　上記粘弾性材料で構成される解析対象物をゴルフボールとし、ゴルフクラブヘッドと上記ゴルフボールの衝突を想定した動的挙動の解析を行い、請求項１乃至請求項４のいずれか１項に記載の粘弾性材料に生じるエネルギーロスの算出方法により、上記衝突により上記ゴルフボールに生じるエネルギーロスを算出し、

上記エネルギーロスを可視化ソフトに読み込ませ、上記ゴルフボールのエネルギーロスを時々刻々で可視化することを特徴とするゴルフボールのエネルギーロス評価方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、粘弾性材料に生じるエネルギーロスの算出方法、及び該方法を用い

たゴルフボールのエネルギーロス評価方法に関し、詳しくは、動的変形挙動中の粘弾性材料に生じるエネルギーロスをある時間毎に算出可能とし、粘弾性材料の動的挙動の解析精度の向上を図るものであり、特に打撃時にゴルフボール内部に生じるエネルギーロスについて評価するものである。

【０００２】

【従来の技術】

ゴムやエラストマーなどの高分子材料に代表される粘弾性材料は、タイヤ、スポーツ競技において使用される各種ボール、印刷機に用いられるロールなど各種製品に広く適用されている。

【０００３】

上記のような粘弾性材料等で構成される各種工業製品について、試作の費用と時間の節約等のためにシミュレーションを用いた製品開発が多方面で行われている。例えば、本出願人は、特開２００２－５５０３４号において、ゴルフボール等のボールの反発性能を予測するために、実際の打撃試験を有限要素法解析によりシミュレーションする方法を提案している。

【０００４】

また、ゴルフボールの反発性能を向上させるためには、ゴルフボールの打撃時にボール内部で生じるエネルギーのロス（損失）に着目することが考えられている。即ち、ゴルフボールは打撃物によりインパクト（衝突）されると変形が生じた後、打撃物から分離して反発を生じる。このときのゴルフボールの反発係数は衝突中にボール内部で生じるエネルギーのロス（損失）に大きく影響されることが判っている。このようなゴルフボール等の粘弾性材料で構成される解析対象物に生じるエネルギーロスをシミュレーションにより算出することについても検討がなされている。

【０００５】

具体的には、粘弾性材料が応力を受け、ひずみが生じた後、材料が元に戻る過程において、図１４のようなひずみと応力の関係（応力－ひずみ曲線）を示す。このひずみと応力の関係を示す曲線において、材料に衝撃が加えられるのに伴い、上記曲線は矢印に示すように時々刻々、点Ｏから点Ａ（ひずみの絶対値が最大

値）へ行き、再び点Ｏに戻る。その際、点Ｏから点Ａへ行くまでの仕事量と、再び点Ｏに戻るまでの仕事量との差（図中縦縞部分）が生じる。この仕事量の差（縦縞部分の面積）の値を用いて、粘弾性材料に生じるエネルギーロスを求めることができる。

【０００６】

上記仕事量の差を求めるため、図１５（Ａ）に示すように、点Ｏから点Ａへ行くまでの仕事量の総和Ｌ１（縞線部分に示す仕事量）を算出すると共に、図１５（Ｂ）に示すように、点Ａから再び点Ｏに戻るまでの仕事量の総和Ｌ２（縞線部分に示す仕事量）を算出する。

【０００７】

点Ｏから点Ａへ行くまでの仕事量の総和Ｌ１と、点Ａから再び点Ｏに戻るまでの仕事量の総和Ｌ２の値から、仕事量の差Ｌ（図１４に示す縦縞部分の面積）を算出する。仕事量の差Ｌの値と、各要素の初期形状での体積との積により、エネルギーロスを算出できる。このように、従来は、応力－ひずみの関係を図にした時に一般的に呼ばれるヒステリシスロスという応力－ひずみ曲線の中の面積（ループ面積）を用いてエネルギーロスを算出していた。

【０００８】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のような方法では、解析対象物が変形を生じ、変形がほぼ収束し、初期の形状に復元したときに初めて動的変形挙動の終了時点のエネルギーロスとしてしか算出することができない。このような一連の変形挙動の過程全体におけるエネルギーロスでもゴルフボールの反発性能の予測等には十分であるが、変形挙動中の時々刻々でのエネルギーロスの値を算出できれば、反発性能以外にも打球フィーリング等の評価に活用することも可能となる。

【０００９】

また、粘弾性材料が変形し、その変形状態から初期の状態に戻りきらないような場合には、応力－ひずみ曲線において、ひずみが０に戻りきらずループが閉になりきらないため、上記ループ面積による方法では、エネルギーロスを算出できないという問題がある。さらには、解析が終わりきらなければ、エネルギーロス

を算出できず、変形の途中段階でのエネルギーロスを評価できないという問題がある。

【００１０】

本発明は上記した問題に鑑みてなされたものであり、粘弾性材料の動的挙動時の時々刻々でのエネルギーロスを算出できる粘弾性材料に生じるエネルギーロスの算出方法の提供を第１の課題とし、打撃時にゴルフボール内部に生じるエネルギーロスを時々刻々に可視化できるゴルフボールのエネルギーロス評価方法の提供を第２の課題としている。

【００１１】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明は、粘弾性材料で構成される解析対象物について数値解析手法で動的挙動の解析を行い、上記解析対象物の粘性成分により、上記動的挙動時に上記粘弾性材料が損失するエネルギーロスを時々刻々で算出することを特徴とする粘弾性材料に生じるエネルギーロスの粘弾性材料に生じるエネルギーロスの算出方法を提供している。

【００１２】

粘弾性材料に生じるエネルギーロスは、粘弾性材料を構成する粘性成分が発生するものである。よって、本発明者は鋭意研究の結果、粘弾性材料のエネルギーロスを算出するためには、解析対象物の粘性成分に着目すれば良く、このため時々刻々のエネルギーロスを算出するには時々刻々の粘性成分が発生するエネルギーロス自体を算出すれば良いことを見出した。このように、数値解析により得られたある時刻での粘性成分に着目すれば、解析終了時点までの応力－ひずみ曲線がなくても、動的変形挙動により生じている時々刻々のエネルギーロスを算出することができる。

【００１３】

従って、粘弾性材料が変形して元に戻らない状態、変形からの途中段階、ある瞬間でのエネルギーロスを算出し、粘弾性材料の動的変形挙動の解析、解析対象物の設計に役立てることができる。

【００１４】

数値解析手法を有限要素法解析により行い、解析対象物の動的挙動時に粘性によって生じる応力値を用いてエネルギーロスを算出していることが好ましい。動的挙動時のある時刻で、あるひずみ量が生じている際、粘性から粘性成分、弾性から弾性成分とが存在するが、エネルギーロスはこの内、粘性によって生じる応力値を用いて算出することができる。また、粘性によって生じる応力値は、粘弾性材料の粘性成分の粘性抵抗と、動的挙動時の粘弾性材料のひずみ速度とにより求めていることが好ましい。

上記理由により有限要素法解析が好ましいが、その他、有限差分法、有限体積法、境界要素法等の方法を用いて数値解析を行っても良い。

【００１５】

具体的には、図１のような応力－ひずみ曲線のヒステリシスループを描く解析対象物に対し、その粘性成分が発生する応力値を時々刻々算出することで、エネルギーロスの時刻歴変化を動的挙動と対応して可視化することができる。

【００１６】

例えば、変形挙動時に図１のような応力－ひずみ曲線を示す粘弾性材料は、図２のような弾性成分を表すバネと粘性成分を表すダッシュポットが並列で構成される２要素フォークト材料モデルでモデル化している。通常、図１の応力－ひずみ曲線を描いたとき、変形挙動が収束し、初期の形状に復元したときに復元時点までのエネルギーロスを算出することができる。しかし、実際の変形挙動時には、時々刻々の変形の中でダッシュポットでエネルギーの損失が生じている。このダッシュポットがする粘性の仕事がエネルギーロスである。なお、弾性成分のひずみと応力の関係は、弾性成分が一定の場合、ひずみの値が最大時のひずみε_{max}と、ひずみ０とを結ぶ図１中の破線で示す。

【００１７】

解析対象物が動的変形挙動をした際、図１のような応力とひずみが発生したとする。その時、時々刻々に生じる応力は弾性成分と粘弾性成分から

$\sigma = E\varepsilon + \eta\left(d\varepsilon / dt\right)$である。

（Ｅ：弾性成分の弾性率、η：粘性成分の粘性抵抗、σ：応力、ε：ひずみ、$d\varepsilon / dt$：ひずみ速度）

この時、η（ｄε／ｄｔ）が粘性成分によって生じる応力となる。あるいは、これと同値となるσ－Ｅεが粘性成分によって生じる応力（全体の応力－弾性成分によって生じる応力）を表すこととなる。従って、図１のように弾性成分で生じる応力値、あるいは粘性成分で生じる応力値が時々刻々取得できれば（粘性成分の粘性抵抗あるいは弾性成分の弾性率がわかれば）、時系列の変化としてエネルギーロスの値を算出することができる。当然であるが、この時々刻々で生じるエネルギーロスの総和は、従来算出される変形復元時の応力－ひずみ曲線のループの面積、つまり解析終了時で算出されるエネルギーロスと同値である。

【００１８】

粘弾性材料を有限要素法などで数値解析する際に、上述したようにモデル化する材料モデルの弾性成分の弾性率あるいは粘性成分の粘性抵抗の値から粘性が発生する時々刻々の応力値が必要である。今回、例として単純な２要素フォークトモデルの材料モデルを示しているが、他のモデル（複数、粘性モデルを持つ材料モデル）でも同様、粘性によって発生する応力値を時々刻々算出、取得できれば良い。

【００１９】

粘弾性材料の粘性を考慮した粘弾性モデルとしては、バネとダッシュポットからなる粘弾性モデルが好ましい。このような粘弾性モデルにより、粘弾性材料の粘性を単純化することができるため、粘性が材料の変形状態に及ぼす影響を容易に考慮することができる。具体的には、マックスウェル（maxwell）モデル、フォークト（Voigt）モデルあるいは、さらに、複数のバネ、ダッシュポットの組み合わせが挙げられる。モデルの単純化という観点からは２要素モデルが好ましい。このような粘弾性材料モデルでは、バネの剛性（縦弾性係数あるいは横弾性係数（せん断係数））とダッシュポットの粘性抵抗を可変にして用いている。

【００２０】

上記動的挙動の解析に用いる材料物性データは、該解析対象物の実使用条件下で測定されたデータを用いていることが好ましい。これにより、実際の粘弾性材料の種々の変形状態に対応した解析を行うことができる。具体的には、実際の製品使用時に製品に外力が加わり、粘弾性材料が変形した状態を想定して測定条件

を定めるのが良く、例えば、高速で大きな変形量の場合には、下記に示すようなスプリットホプキンソン棒試験機により測定されるのが好ましい。

【００２１】

スプリットホプキンソン棒試験機による測定では、試験片に高速でかつ大変形のひずみを与えることができる。従って、実際にゴルフクラブヘッドにより、ゴルフボールが打撃されたときと同等のひずみ、ひずみ速度、応力の条件下（１万分あるいは１千分の数秒という高速で且つ変形量も数十％という、高速大変形条件下）で、ゴルフボールを構成する材料物性を測定することができる。また、スプリットホプキンソン棒試験機は、試験片に衝撃を加える打撃棒の衝突速度を変更するだけで、様々なひずみ、ひずみ速度の領域での試験片の材料物性を測定することができる。

【００２２】

スプリットホプキンソン棒試験機は、元来、金属材料の衝撃挙動の評価用に用いられていたが、本発明では、スプリットホプキンソン棒試験機を、粘性を持つ粘弾性材料の評価用に改良して用いている。スプリットホプキンソン棒試験機の測定方法等については後述する。

【００２３】

粘弾性材料としては、粘弾性を有するあらゆる材料が含まれる。例えば、熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂、各種エラストマー、ゴム等が挙げられ、これらの単体、あるいは混合物を用いることができる。また、これらの単体、混合物には、着色剤、劣化防止剤、架橋剤等の各種添加剤が、必要に応じ配合されていてもよい。

【００２４】

また、本発明は、上記粘弾性材料で構成される解析対象物をゴルフボールとし、ゴルフクラブヘッドと上記ゴルフボールの衝突を想定した動的挙動の解析を行い、本発明の粘弾性材料に生じるエネルギーロスの算出方法により、上記衝突により上記ゴルフボールに生じるエネルギーロスを算出し、

上記エネルギーロスを可視化ソフトに読み込ませ、上記ゴルフボールのエネルギーロスを時々刻々で可視化することを特徴とするゴルフボールのエネルギーロ

ス評価方法を提供している。

【００２５】

このように、打撃物とゴルフボールの衝突時に、ゴルフボール内部で発生するエネルギーロスの状態を時々刻々に可視化し観察することにより、ゴルフボールを構成する粘弾性材料の動的挙動中の材料状態を把握することができる。特にインパクトしてからボールが離れるまでの間の時々刻々のエネルギーロスを可視化することで、打撃時の衝撃力に起因するフィーリング等の向上に有益な情報を得ることができ、ゴルフボールの設計に役立てることができる。

【００２６】

ゴルフボールをモデル化し、複数の要素にメッシュ分割し、算出した各要素のエネルギーのロスを３次元的に可視化、表示することで、ゴルフボール内部のどの部分で、エネルギーのロス（損失）がどの程度生じているかを予測、観察することが可能となる。なお、エネルギーロスとは、各要素の各成分の変形（ヒステリシス）のロスである。

【００２７】

具体的な可視化の実現方法としては、例えば可視化汎用ソフトｅｎｓｉｇｈｔ等が挙げられる。これにより、ボールを構成する各要素で生じるエネルギーロス値を例えば色により区別した図（ｃｏｎｔｏｕｒ図）等で表示することができる。

また、エネルギーロスを可視化する際に、各要素の節点の節点座標値からゴルフボールモデルの変形形状を表示しても良い。これにより、ゴルフボールのエネルギーロスと衝突時の変形形状とを併せて可視化することができ、ゴルフボールの設計に有効である。

【００２８】

ゴルフボールは、粘弾性材料から構成され、実使用時に衝撃荷重等の外力を受け高速変形、あるいは大変形を強いられる製品である。実際のゴルフクラブヘッドによる打撃時に、ゴルフボールに発生する最大圧縮ひずみ、最大ひずみ速度を想定して、最大圧縮ひずみが０．０５～０．５０であり、最大ひずみ速度が５００／ｓ～１００００／ｓ、好ましくは５００／ｓ～５０００／ｓであるような条

件下で測定された材料物性を用いていることが好ましい。実際の打撃時にボールを構成する材料が受けているひずみ、応力の状態を正確にシミュレートすることができるため、エネルギーロスの可視化の精度を向上させることができる。

【００２９】

解析対象とされるゴルフボールは、架橋ゴム層等の単体からなる所謂１ピースゴルフボールであってもよく、架橋ゴム層等のコアにカバーが被覆された所謂２ピースゴルフボールでもよく、また、３層以上から構成されている所謂マルチピースゴルフボールであってもよく、あらゆる構造のゴルフボールに適応可能である。

【００３０】

ゴルフボールの材料としては、一般にゴルフボールに用いられる粘弾性材料であればよく、また、各種添加剤が配合されていてもよい。即ち、有限要素法解析等の数値解析に必要な材料物性を測定できる材料であれば、あらゆる材料からなるゴルフボールに適応可能である。

【００３１】

具体的には、ゴルフボールの構成材料として用いられるアイオノマー樹脂等の合成樹脂、ポリブタジエン（ブタジエンゴム）、天然ゴム、ポリイソプレン、スチレン－ブタジエン共重合体、エチレン－プロピレン－ジエン共重合体（ＥＰＤＭ）、ウレタンゴム等が挙げられる。

【００３２】

解析対象とされる粘弾性材料からなる製品としては、ゴルフボール以外に、プリンタ等の印刷機に用いられるゴムローラ、ゴムベルト、あるいはタイヤ、その他粘弾性材料からなるテニス用、ゴルフ用等のスポーツ用品、シューズの靴底等が挙げられる。粘弾性材料からなる製品としては、製品の少なくとも一部に粘弾性材料が使用されていれば良く、金属材料等の他の材料との複合成形品等であっても良く、製品の粘弾性材料に該当する部分の性能を予測することもできる。

【００３３】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。

本発明の粘弾性材料に生じるエネルギーロスの算出方法を用いたゴルフボールのエネルギーロス評価方法について詳述する。粘弾性材料で構成される解析対象物をゴルフボールとし、ゴルフクラブヘッドとゴルフボールの衝突を想定した動的挙動の解析を行っており、衝突によりゴルフボールに生じるエネルギーロスを時々刻々で算出し、エネルギーロスを可視化ソフトに読み込ませ、ゴルフボールのエネルギーロスを時々刻々で可視化している。

【００３４】

（ステップ１）ゴルフボールモデルを節点からなる多数の要素にメッシュ分割し、ゴルフボールの材料物性を入力し、有限要素法解析により、ゴルフクラブヘッドとゴルフボールの衝突を想定したシミュレーションを行い動的挙動を解析する。上記衝突時にゴルフボールモデルに発生するひずみ量を演算する。

（ステップ２）上記ゴルフボールモデルの各要素の応力、ひずみ成分、各要素での弾性率、粘性抵抗、ひずみ速度、節点座標値を出力し、各要素の時々刻々の６成分の応力、ひずみの値を算出する。

（ステップ３）上記６成分の応力、ひずみの値より、各要素の各成分における応力とひずみの関係を求め、各要素の時々刻々でのエネルギーロス値を算出する。

（ステップ４）上記エネルギーロス値をゴルフボールモデルに含まれる全ての要素に関して算出し、可視化ソフトに読み込ませ、ゴルフボールモデルのエネルギーロスを時々刻々で可視化する。また、ゴルフボールモデルの各節点座標値より、変形形状も合わせて可視化する。

【００３５】

ステップ１では、ゴルフボールモデルを節点からなる多数の要素にメッシュ分割し、ゴルフボールの材料物性を入力し、有限要素法解析により、ゴルフクラブヘッドとゴルフボールの衝突を想定したシミュレーションを行い、上記衝突時にゴルフボールモデルに発生するひずみ量を演算する。

【００３６】

図３に示すように、シミュレーションを行うゴルフボールモデル１０は、ウレタン系材料を主成分とする１ピースボールを想定し、直径４２．８ｍｍの球状と

している。

【００３７】

有限要素法解析を行うにあたり、解析モデルにおいて初期条件を設定する。即ち、ゴルフボールモデル１０の大きさ、形状、構造及び材料物性等の初期条件を設定すると共に、ゴルフボールモデル１０を多数の要素１１にメッシュ分割し、多数の節点１２を得ている。本実施形態では、１１６００個の要素１１に分割し、要素１１の形状は６面体、要素１１のサイズは約１．２５ｍｍ～５．６２ｍｍ、要素１１の体積は約１．９５ｍｍ^3～６３．１ｍｍ^{3}である。なお、図中の格子状の線は、メッシュを示す線である。

上記設定条件に基づいて、打撃物の衝突時から所定時間後のゴルフボールモデル１０に発生するひずみ量を演算する。

【００３８】

また、上記ウレタン系材料を主成分とする材料の物性を、後述するスプリットホプキンソン棒試験機により測定する。これにより、実際のゴルフクラブヘッドによる打撃時と同等のひずみ、ひずみ速度の条件下における材料の物性値を得て、この物性値を入力し、以下に示すように、ゴルフボールモデル１０について、有限要素法によりシミュレーションを行っている。

【００３９】

ゴルフクラブヘッド（打撃物）のゴルフボールへの衝突を想定し、図４（Ａ）（Ｂ）（Ｃ）に示すように、シミュレーションを行っている。即ち、ゴルフボールモデル１０に、打撃物として５０ｇ（ゴルフクラブヘッドの重さ２００ｇの１／４）である１／４円筒形状のアルミニウム製中空棒モデル２０を速度４５ｍ／ｓで衝突させた時のゴルフボールモデル１０の状態を有限要素法により解析し、シミュレーションを行っている。これにより、各要素１１における所定時間におけるひずみ量を演算している。なおアルミニウム製中空棒モデル２０の円形面２０ａを衝突面とし、衝突面はフラットであり、ゴルフボールモデル１０とフラットな正面衝突としている。また、アルミニウム製中空棒モデル２０の円形面２０ａの中心点２０ｂが、最初のゴルフボールモデル１０との衝突点となるように衝突させている。

【００４０】

なお、左右対称モデルの解析の場合、ボール全体ではなくハーフモデルとしても良く、左右、上下対称モデルの場合、２つの中立面でカットした１／４モデルとしても良い。このように解析モデルの対称性を考慮することで、解析精度を低下させることなく、解析領域を少なくして効率良く解析を行うことができる。

【００４１】

ステップ２では、まず、上記有限要素法解析によるシミュレーション結果から、ゴルフボールモデル１０の各要素１１が、打撃物（アルミニウム製中空棒モデル２０）との衝突時から受けている時々刻々の応力、ひずみ成分と、上記各要素１１の弾性率、粘性抵抗、ひずみ速度、節点１２の座標データ（節点座標値）とを算出する。

【００４２】

次に、上記算出値より、各要素１１の時々刻々の応力、ひずみの値を下記の６成分について算出する。各要素１１について、ひずみ及び応力は、垂直方向３成分、せん断方向３成分の計６成分から構成されるため、上記６成分について算出している。

【００４３】

ステップ３では、粘弾性材料で構成される解析対象物について数値解析手法で動的挙動の解析を行い、解析対象物の粘性成分により、動的挙動時に粘弾性材料が損失するエネルギーロスを時々刻々で算出する。

【００４４】

まず、ステップ２で算出した各要素の時々刻々の６成分の応力、ひずみの値を用い、上記応力とひずみの関係をグラフに示す。

即ち、上記有限要素法解析によるシミュレーションでは、ゴルフボールモデル１０を構成する各要素１１の各成分において、打撃物（アルミニウム製中空棒モデル２０）が衝突し材料が応力を受け、ひずみが生じた後、材料が元に戻る過程において、図５のようなひずみと応力の関係（応力－ひずみ曲線）を示す。図５において、横軸はひずみ、縦軸は応力を表し、ゴルフボールモデル１０中の１要素の１成分の応力、ひずみの関係を示している。

【００４５】

図５中のひずみと応力の関係を示す曲線において、ある時刻で、あるひずみの値を示すとき、応力の値は、上述したように、$\sigma = E\varepsilon + \eta(d\varepsilon/dt)$で表され、粘性成分による応力と弾性成分による応力とに分けられる。このときの粘性成分による応力を表す$\eta(d\varepsilon/dt)$を用いてエネルギーロスを算出している。このように、粘性によって生じる応力値は、粘弾性材料の粘性成分の粘性抵抗ηと、動的挙動時の粘弾性材料のひずみ速度（$d\varepsilon/dt$）とにより求めている。同様に、また別のある時刻での解析対象物の動的挙動時に粘性によって生じる応力値を用いて時々刻々でのエネルギーロスを算出することができる。

【００４６】

粘性によって生じる応力値と、各要素１１の初期形状での体積Ｖとの積により、各要素１１の各成分におけるある時刻でのエネルギーロスを算出できる。エネルギーロスの値は、６成分それぞれで存在するため、６成分各々において、上記同様の方法でエネルギーロスの値を算出し、６成分のエネルギーロスの合計値がその要素のある時刻でのエネルギーロス値となる。

【００４７】

ステップ４では、ある時刻でのエネルギーロス値をゴルフボールモデルに含まれる全ての要素に関して単位体積当たりのある時刻でのエネルギーロス値を算出し、可視化ソフトに読み込ませ、ゴルフボールモデルのある時刻でのエネルギーロスを可視化する。以下、具体的なエネルギーロスの可視化方法を示す。

【００４８】

まず、ステップ３で算出された各要素１１のある時刻でのエネルギーロス値を各要素１１がある時刻でもつエネルギーロス値として可視化ソフトに読み込ませる。

【００４９】

次に、図６に示すように、ゴルフボールモデル１０の変形挙動中の各要素におけるある時刻でのエネルギーロスをコンター（ｃｏｎｔｏｕｒ）図（断面図）で示し、ゴルフボールモデル１０の内部に生じるある時刻でのエネルギーロスを可視化する。

【００５０】

具体的には、ゴルフボールモデル１０において、エネルギーロスの値により表示領域を定め、ゴルフボール内部の状態を図示している。即ち、最もエネルギーロスが大きい領域を領域（赤）、最もエネルギーロスが小さい領域を領域（青）とし、エネルギーロスの値により順次領域を定め（領域赤＞…黄＞…緑＞…青）、ゴルフボールの断面に表示している。

【００５１】

また、上記解析により得られた各要素１１の節点１２の座標データ（節点座標値）からゴルフボールモデル１０の変形形状も併せて表示し、打撃物の衝突時のある時刻でのゴルフボールモデル１０の形状も可視化する。

【００５２】

以上より、打撃物の衝突時のある時刻で、ゴルフボール内部のどの部分で、どの程度エネルギーロスが生じているかを予測、観察すると共に、ある時刻でのゴルフボールの変形形状をも予測することができる。

【００５３】

また、粘弾性材料が変形して元に戻らない状態、変形からの途中段階、ある瞬間でのエネルギーロスを各々別個に算出することができる。よって、インパクトの瞬間のエネルギーロスや、インパクトから球離れまでのエネルギーロス等、種々の条件でのエネルギーロスの算出が可能である。

【００５４】

エネルギーロスの可視化においては、各要素のエネルギーロスの値の大小により色分けし、コンター図においてエネルギーロスの違いを色で表示することで、可視化を実現するのが最適である。例えば、図６に示すように、各要素のエネルギーをそれぞれ色分けして表示すると、一目でエネルギーロスの大小を評価することができる。なお、表示の際の領域の数や各領域におけるエネルギーロスの値の範囲は、適宜設定することができる。

【００５５】

本実施形態では、１ピースゴルフボールモデルとしているが、２ピースゴルフボール、あるいは、３層以上から構成されていてるマルチピースゴルフボール等

とすることもでき、材料も適宜変更可能である。また、有限要素法以外の数値解析法により解析しても良い。なお、要素座標変換に必要な節点座標を出力し、各要素の時々刻々の要素座標系での６成分の応力、ひずみの値を算出することもできる。

【００５６】

（実施例１）

ゴルフボールモデルは、ウレタン系材料を主成分とする１ピースボールからなる混合物を１６０℃で３０分、直径４２．８ｍｍの金型で圧縮成型）を想定し、直径４２．８ｍｍの球状とした。

【００５７】

上記ウレタン系材料を主成分とする材料の材料物性（ヤング率と損失係数）を、後述するスプリットホプキンソン棒試験機により測定した（室温２３℃、相対湿度５０％、打撃棒の衝突速度２５ｍ／ｓ）。測定により得られたヤング率の値は２８．８５ＭＰａ、損失係数の値は１．１６であった。また、測定時の最大圧縮ひずみの値は０．４４５、最大ひずみ速度の値は４８７４．３［／ｓ］であった。

【００５８】

上記実施形態と同様の方法により、有限要素法で図２の２要素モデルで材料モデル化した粘弾性材料（弾性成分の弾性率Ｅ＝１．６１［ｋｇｆ／ｍｍ^2］、粘性成分の粘性抵抗＝０．０００１９）で構成されるゴルフボールモデルを用いた。実施例１のゴルフボールモデル１０’について、図７に示すように、初速４５ｍ／ｓでアルミニウム製中空棒モデル２０’（１／４モデル）を衝突させた時のある時刻でのエネルギーロスを算出した。ゴルフボールモデルは、１２７９７個の節点からなる１１６００個の要素に分割し、要素の形状は６面体、サイズは０．５ｍｍ～１．６９ｍｍ、体積は約０．１２５ｍｍ^3～２．７３ｍｍ^{3}とした。ゴルフボールモデルの要素のうち、１要素におけるの１方向の応力－ひずみ曲線を得、粘性によって生じる応力値を算出した。

同様に、他の５方向に関しても粘性によって生じる応力値の算出を行い、６方向の粘性によって生じる応力値の合計を求めた。６方向の粘性によって生じる応

力値の合計と要素の体積１．１５×１０－９ｍ３を掛けて、１要素のエネルギーロスを算出すると、５．０８４×１０－３Ｎ・ｍであった。

【００５９】

ゴルフボールモデルを構成する全ての要素に関して同様の計算を行い、単位体積当たりのある時刻でのエネルギーの値を、図８、９、１０に示すコンター図で可視化した。図中、ＣＯＮＴＯＵＲ－ＬＥＶＥＬにて、エネルギーの値［ＭＰａ］と、それに対応する色の関係を示した。要素のある時刻でのエネルギーロスの値が約２１．５４ＭＰａより大きい部分は赤系の色で表示している一方、エネルギーロスの値が小さい部分は青系の色で表示した。これにより、衝突後のある時刻において、ゴルフボールのどの部分でエネルギーロスが大きいかを一目で判断可能であることが確認できた。なお、このコンター図において、１つの要素に関して複数の色が存在するのは、要素のエネルギーロスの値を節点に振り分け、隣接する要素の値も加えられるためである。

【００６０】

具体的には、衝突から約１．４×１０－４秒後の状態を図８に、図８の状態から、さらに変形が進み衝突から時間が約３．２×１０－４秒経過した状態を図９に示し、図９の状態から、さらに時間が経過し衝突から時間が約４．６×１０－４秒経過し変形が元に戻っている状態を図１０に示す。その他の時間においても同様にエネルギーロスの算出が可能であり、ある一定時間間隔毎にエネルギーロスの状態を観察することもできる。

【００６１】

（スプリットホプキンソン棒試験機による材料物性の測定）

図１１は、本発明のゴルフボールのエネルギーロス評価方法において、有限要素法解析に必要な材料物性（ヤング率や損失係数等）を測定するスプリットホプキンソン棒試験機が示された模式的正面図である。

【００６２】

図１１に示すスプリットホプキンソン棒試験機は、打撃棒５１、入力棒５３及び出力棒５５を備えており、これらは直線上に配置されている。入力棒５３には、第一ひずみゲージ５７及び第二ひずみゲージ５９が取り付けられている。出力

棒５５には、第三ひずみゲージ６１及び第四ひずみゲージ６３が取り付けられている。入力棒５３の後端５３ａと出力棒５５の前端５５ａとの間には、円柱状の試験片７０が挟持されている。

【００６３】

試験片７０は、ゴルフボールに用いられるゴム組成物等の材料を試験片の形状に成形したものでもよく、また、球状に成形されたゴルフボールから切り出されたものであってもよい。本実施形態では、試験片７０の長さ（すなわち入力棒５３の後端５３ａと出力棒５５の前端５５ａとの距離）は４ｍｍ、試験片７０の断面直径は１８ｍｍとしている。

【００６４】

打撃棒５１、入力棒５３及び出力棒５５はポリメチルメタアクリレート製の円柱であり、断面直径は２０ｍｍ、ヤング率は５３００ＭＰａ、比重は１．１９である。打撃棒５１の長さは、１００ｍｍである。入力棒５３及び出力棒５５（以下、この入力棒５３と出力棒５５とは、「応力棒」とも称される）の長さは、２０００ｍｍである。

第一ひずみゲージ５７は入力棒５３の後端５３ａから９００ｍｍの位置に取り付けられており、第二ひずみゲージ５９は入力棒５３の後端５３ａから６００ｍｍの位置に取り付けられている。また、第三ひずみゲージ６１は出力棒５５の前端５５ａから３００ｍｍの位置に取り付けられており、第四ひずみゲージ６３は出力棒５５の前端５５ａから６００ｍｍの位置に取り付けられている。

【００６５】

このように、図１１のスプリットホプキンソン棒試験機は、打撃棒５１、入力棒５３及び出力棒５５がポリメチルメタアクリレートからなる合成樹脂製であり、打撃棒５１及び入力棒５３が２０００ｍｍと大きく、しかも第一ひずみゲージ５７と入力棒５３の後端５３ａとの距離及び第二ひずみゲージ５９と入力棒５３の後端５３ａとの距離が大きいので、ゴルフボールに用いられるような架橋ゴム等の粘弾性を有する材料の材料物性（ヤング率や損失係数等）の測定に適している。

【００６６】

上記第一ひずみゲージ５７、第二ひずみゲージ５９、第三ひずみゲージ６１、第四ひずみゲージ６３として単軸プラスチック用ひずみゲージを用い、本実施形態では、株式会社共和電業製のＫＦＰ－５－３５０－Ｃ１－６５を用い、入力棒５３、出力棒５５の上記した位置に貼着している。これら第一ひずみゲージ５７乃至第４ひずみゲージ６３の入力棒５３及び出力棒５７への取付位置は、長さ方向において同一線上としている。

【００６７】

このスプリットホプキンソン棒試験機によるヤング率や損失係数等の材料物性の測定では、まず、打撃棒５１が入力棒５３の前端５３ａに、２５ｍ／ｓの速度で衝突する。これによって入射ひずみ波が生じ、この入射ひずみ波は入力棒５３の後端５３ａに向かって進む。この入射ひずみ波の一部は、入力棒５３の後端５３ａにおいて反射し、反射ひずみ波となって入力棒５３の前端５３ｂに向かって進む。入射ひずみ波の一部は、入力棒５３の後端５３ａから試験片７０を透過し、さらに出力棒５５に伝播して透過ひずみ波となり、出力棒５５の後端５５ｂに向かって進む。

【００６８】

入射ひずみ波は、第一ひずみゲージ５７及び第二ひずみゲージ５９によって実測される。実測された入射ひずみ波は、ローパスフィルターに通され、１０ｋＨｚ以上の高周波が除去される。さらに、入射ひずみ波の時刻歴は、そのベースライン値をゼロとするゼロ補正が施される。こうして得られた第一ひずみゲージ５７及び第二ひずみゲージ５９における時間軸ひずみのそれぞれがフーリエ変換され、周波数軸ひずみが求められる。この第一ひずみゲージ５７及び第二ひずみゲージ５９における周波数軸ひずみから、伝達関数が導出される。第一ひずみゲージ５７と入力棒５３の後端５３ａとの距離Ｘ１と、第二ひずみゲージ５９と入力棒５３の後端５３ａとの距離Ｘ２との比（Ｘ１：Ｘ２）が考慮されつつ、上記伝達関数に基づいて、入力棒５３の後端５３ａにおける周波数軸ひずみが推定される。この周波数軸ひずみがフーリエ逆変換されることにより、入力棒５３の後端５３ａにおける入射ひずみ波の時間軸ひずみ（ひずみの時刻歴）ε_iが得られる。

【００６９】

同様に、入力棒５３の後端５３ａで反射して前端５３ｂに向かう反射ひずみ波が第二ひずみゲージ５９及び第一ひずみゲージ５７によって実測される。この実測された反射ひずみ波から、入力棒５３の後端５３ａにおける反射ひずみ波の時間軸ひずみ（ひずみの時刻歴）εｒが得られる。

【００７０】

また、出力棒５５の第三ひずみゲージ６１及び第四ひずみゲージ６３によって、試験片７０を経て出力棒５５に伝播される透過ひずみ波を実測し、この実測した透過ひずみ波から、出力棒５５の前端５５ａにおける透過ひずみ波の時間軸ひずみ（ひずみの時刻歴）εｔが得られる。

【００７１】

こうして得られたεｉ、εｒ及びεｔから、下記数式（５）によって、試験片７０のひずみ速度ε’が算出される。

（数式５）

$$\varepsilon' = (C0/L)\cdot(\varepsilon i - \varepsilon r - \varepsilon t)$$

$$= ((E/\rho)^{1/2}/L)\cdot(\varepsilon i - \varepsilon r - \varepsilon t) \quad ---(5)$$

（数式（５）において、Ｃ０は入力棒および出力棒中（応力棒）のひずみ波の伝播速度（ｍ／ｓ）を表し、Ｌは試験片の長さ（ｍ）を表し、Ｅは応力棒のヤング率（Ｎ／ｍ^2）を表し、ρは応力棒の密度（ｋｇ／ｍ^3）を表す）

【００７２】

また、εｉ、εｒ及びεｔから、下記数式（６）によって試験片７０のひずみεが算出される。

【００７３】

（数式６）

$$\varepsilon = (C0/L) \cdot \int_0^t (\varepsilon i - \varepsilon r - \varepsilon t)\, dt$$

$$= ((E/\rho)^{1/2}/L) \cdot \int_0^t (\varepsilon i - \varepsilon r - \varepsilon t)\, dt \quad ---(6)$$

（数式（６）において、Ｃ０は入力棒および出力棒中（応力棒）のひずみ波の伝播速度（ｍ／ｓ）を表し、Ｌは試験片の長さ（ｍ）を表し、Ｅは応力棒のヤング率（Ｎ／ｍ^2）を表し、ρは応力棒の密度（ｋｇ／ｍ^3）を表す）

【００７４】

さらに、εｉ、εｒ及びεｔから、下記数式（７）によって試験片７０の応力σが算出される。

（数式７）

$$\sigma = (E \cdot A / (2As)) \cdot (\varepsilon i + \varepsilon r + \varepsilon t)$$

$$= (E \cdot D^2 / (2 (Ds)^2)) \cdot (\varepsilon i + \varepsilon r + \varepsilon t) \quad ---(7)$$

（数式（７）において、Ｅは入力棒および出力棒からなる応力棒のヤング率（Ｎ／ｍ^2）を表し、Ａは上記応力棒の断面積（ｍ^2）を表し、Ａｓは試験片の断面積（ｍ^2）を表し、Ｄは応力棒の直径（ｍ）を表し、Ｄｓは試験片の直径（ｍ）を表す）

【００７５】

こうして得られた試験片７０のひずみ時刻歴を、図１２のグラフに示す。図１２に示すように、曲線は、ピークＰ以降しばらくはなだらかであるが、その後、凹凸状となる。ピークＰ以降のなだらかな段階での点Ｓを選択し、この点Ｓにおける曲線に対する接線を画き、この接線と時間軸との交点から緩和時間λを導出し、下記数式（８）によって求められる曲線を点Ｓ以降の曲線とすることによって、ひずみ時刻歴全体をなだらかな曲線（図１２中に点線で示す）とすることができる。これにより、最終的に得られる材料物性（ヤング率や損失係数等）へのノイズの影響を除去することができる。

（数式８）

$$\varepsilon(t)=\varepsilon 0\cdot e^{-t/\lambda} \quad \cdots(8)$$

（数式（８）において、ε０は接点におけるひずみを表す）

【００７６】

同様に、下記数式（９）によって、応力時刻歴全体をなだらかな曲線とすることができ、これによって最終的に得られる材料物性（ヤング率や損失係数等）へのノイズの影響を除去することができる。

（数式９）

$$\sigma(t)=\sigma 0\cdot e^{-t/\lambda} \quad \cdots(9)$$

（数式（９）において、σ０は接点における応力を表す）

【００７７】

このような補正が行われた試験片７０のひずみ時刻歴及び応力時刻歴から、応力－ひずみ曲線が決定される。図１３は、典型的な応力－ひずみ曲線が示されたグラフである。この応力－ひずみ曲線から、下記の数式（１０）を用いて、試験片７０のヤング率Ｅｓが算出される。

（数式１０）

$$Es=\sigma max/\varepsilon max \quad \cdots(10)$$

【００７８】

また、図１３の応力－ひずみ曲線から、下記の数式（１１）を用いて、位相角δが算出される。

（数式１１）

$$\delta=\sin^{-1}((\sigma a-\sigma b)/\sigma max) \quad \cdots(11)$$

そして、この位相角δより、損失係数（ｔａｎδ）が算出される。

【００７９】

【発明の効果】

以上の説明より明らかなように、本発明によれば、解析対象物の粘性成分に着目することにより、時々刻々でのエネルギーロスの算出を可能としており、数値解析により得られたある時刻での粘性成分の物性値が得られれば、解析終了時点までの応力－ひずみ曲線がなくても、動的変形挙動により生じている時々刻々の

エネルギーロスを算出することができる。

【００８０】

従って、粘弾性材料が変形して元に戻らない状態、変形からの途中段階、ある瞬間でのエネルギーロスを算出し、粘弾性材料の動的変形挙動の解析、解析対象物の設計に役立てることができる。

【００８１】

また、解析対象物の動的挙動と対応してエネルギーロスの推移を時刻歴で算出し、可視化することができるため、粘弾性材料で構成される動的挙動を伴う工業製品の設計、開発に援用することができる。また、有限要素法を用いてシミュレーションを行っているため、試作の費用と時間の節約が実現でき、様々な材料を用いたあらゆる構造の製品の設計を短期間に達成することができる。

【００８２】

特に、ゴルフボール内部のエネルギーロスを時々刻々で可視化することにより、インパクト時にゴルファーが感じる衝撃力等のフィーリング等に有用な情報を得ることができ、ゴルフボールの設計の効率化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】　応力－ひずみ曲線を示し、動的変形挙動中に粘性成分によって生じる応力値を説明する図である。

【図２】　粘弾性モデルとして用いる２要素のVoigtモデルを示す図である。

【図３】　シミュレーションを行ったゴルフボールモデルの概略図である。

【図４】　アルミニウム製中空棒モデルのゴルフボールモデルへの衝突を想定したシミュレーションにおける各モデルの状態を示し、（Ａ）は衝突前、（Ｂ）は衝突中、（Ｃ）は衝突後の状態図である。

【図５】　ゴルフボールモデル中の１要素の１成分における応力、ひずみの関係を示し、ある時刻での粘性成分による応力値を説明する図である。

【図６】　ゴルフボールモデルと打撃物との衝突時のある時刻でのゴルフボールモデルの各要素のエネルギーロスを可視化した状態を示す図である。

【図７】　実施例１のゴルフボールモデルとアルミニウム製中空棒の衝突時

の状態を示す図である。

【図８】　実施例１におけるゴルフボールモデルと打撃物との衝突時のある時刻でのゴルフボールモデルの各要素のエネルギーロスを可視化した状態を示す図である。

【図９】　図８の状態からある時間経過後のエネルギーロスを可視化した状態を示す図である。

【図１０】　図８の状態からさらにある時間経過後のエネルギーロスを可視化した状態を示す図である。

【図１１】　ヤング率や損失係数等の材料物性が測定されるスプリットホプキンソン棒試験機が示された模式的正面図である。

【図１２】　試験片のひずみ時刻歴の状態が示されたグラフである。

【図１３】　スプリットホプキンソン棒試験機による材料物性の測定時の応力－ひずみ曲線が示されたグラフである。

【図１４】　従来例の説明図であり、動的変形挙動全体での仕事量を示す図である。

【図１５】　（Ａ）（Ｂ）は従来のエネルギーロスの算出方法を示す図である。

【符号の説明】

１０　ゴルフボールモデル

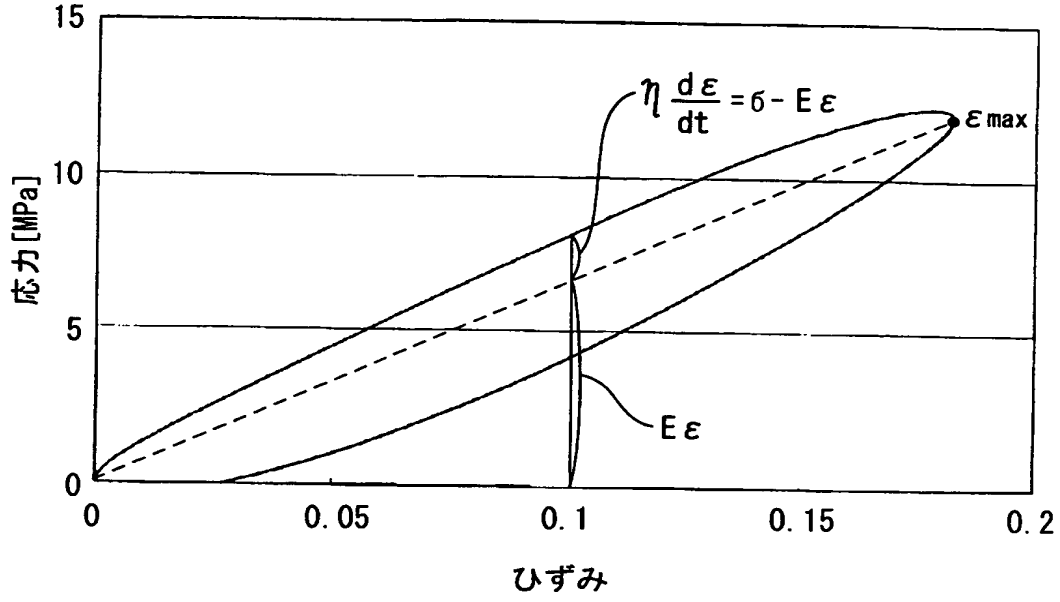
１１　要素

１２　節点

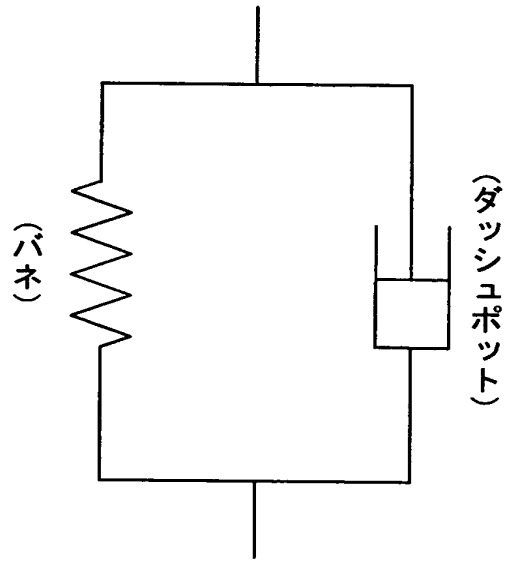
２０　アルミニウム製中空棒モデル

【書類名】　　図面

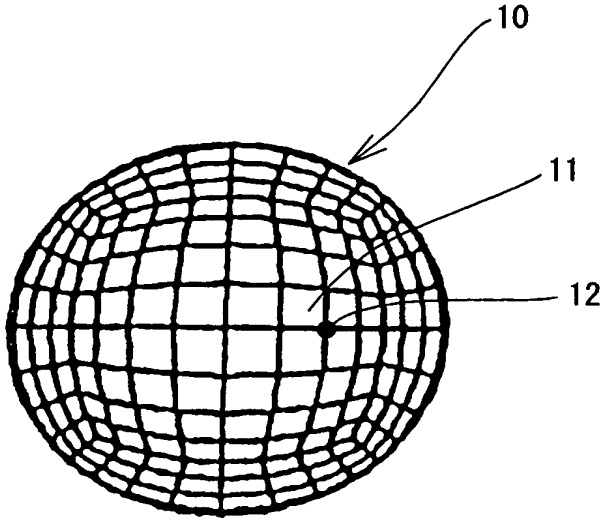
【図１】


15
10
5
0
0
0.05
0.1
0.15
0.2
応力[MPa]
ひずみ
$\eta \frac{d\varepsilon}{dt} = \sigma - E\varepsilon$
εmax
$E\varepsilon$

【図２】

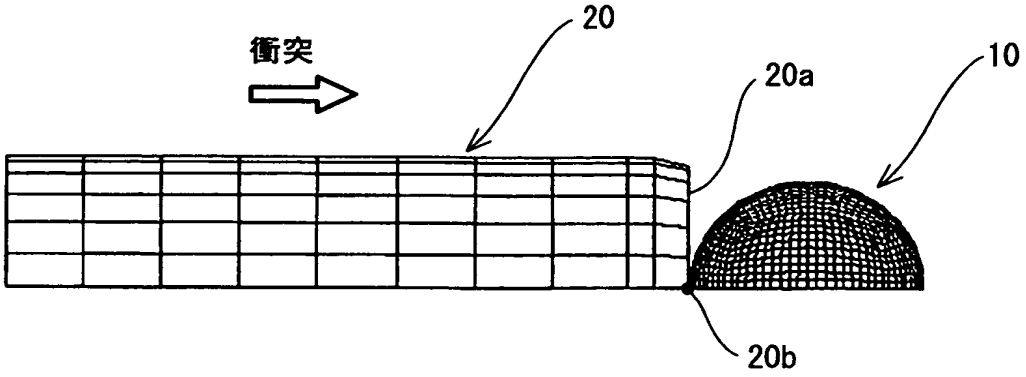


【図３】

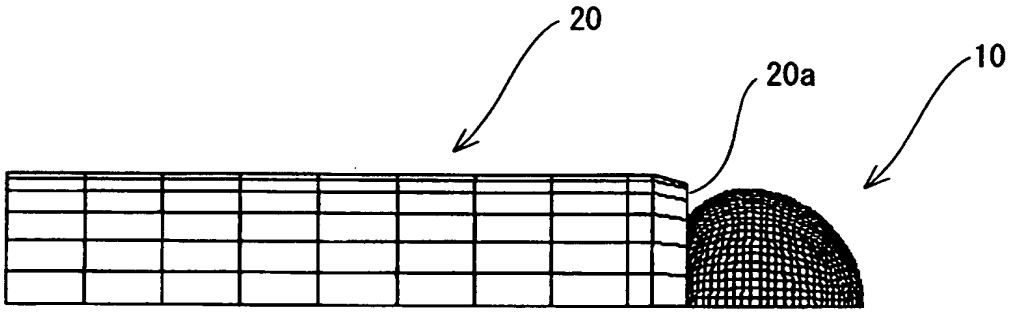


【図４】

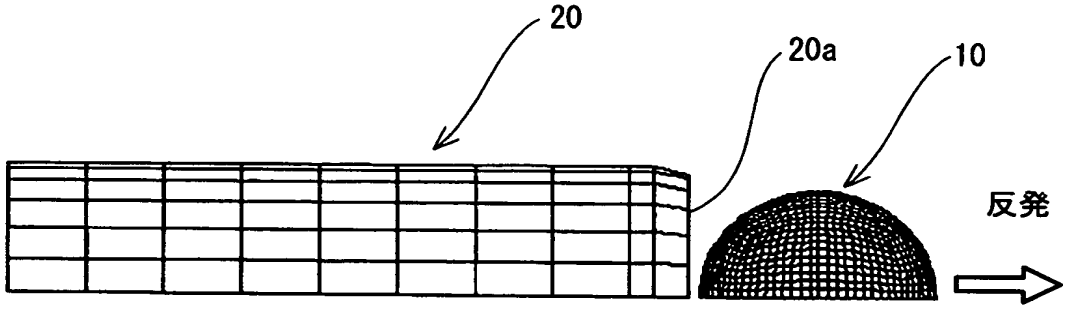
（Ａ）



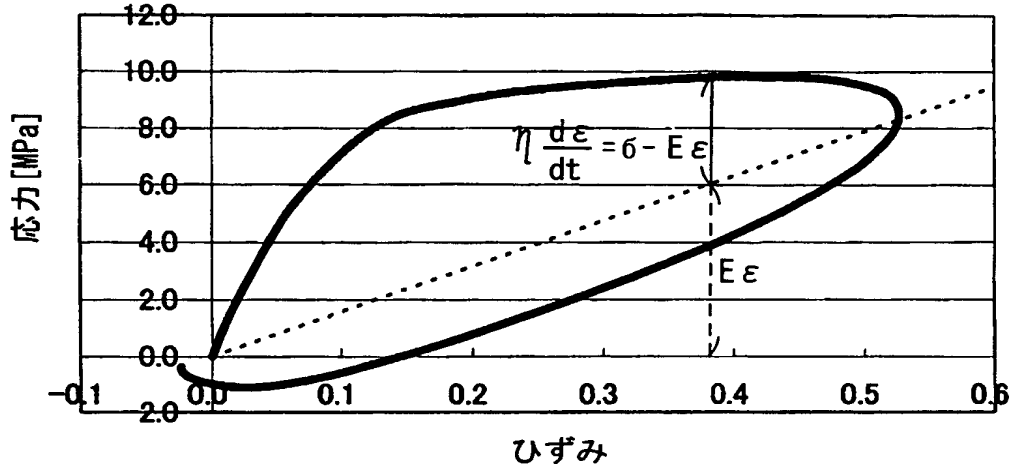
（Ｂ）



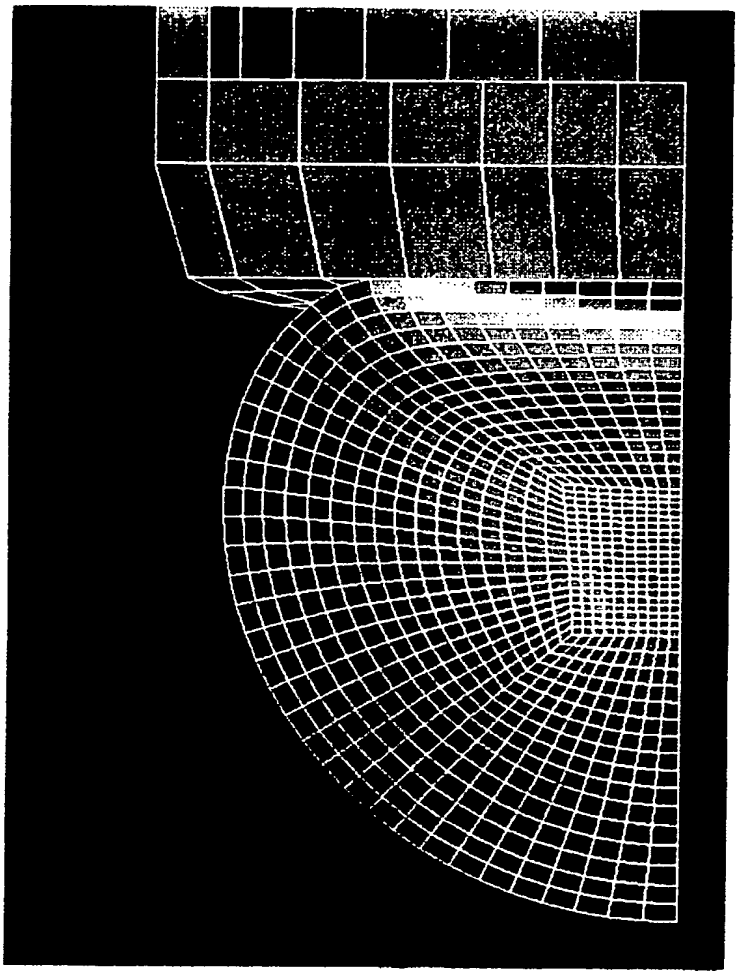
（Ｃ）



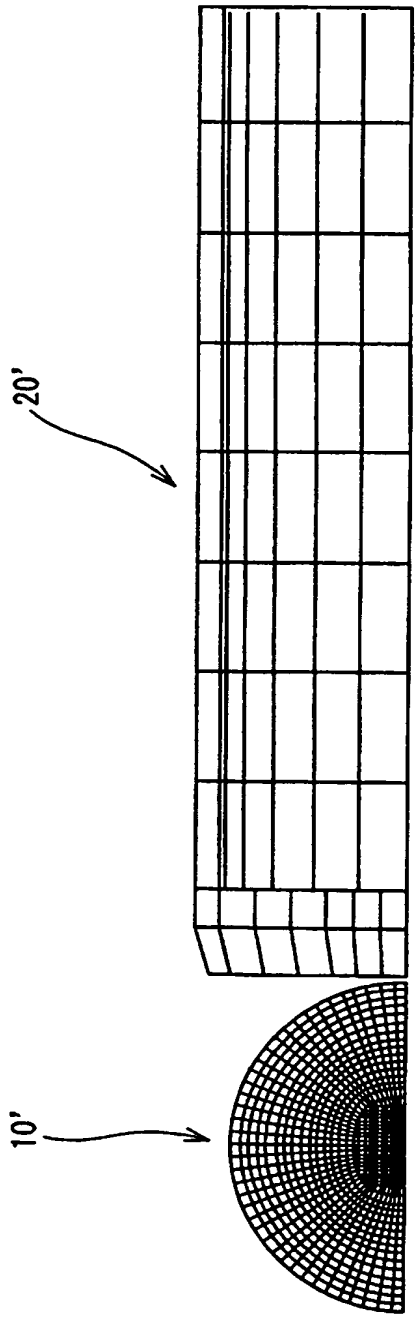
【図５】


12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
2.0
−0.1
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
応力[MPa]
ひずみ
$\eta \frac{d\varepsilon}{dt} = \sigma - E\varepsilon$
$E\varepsilon$

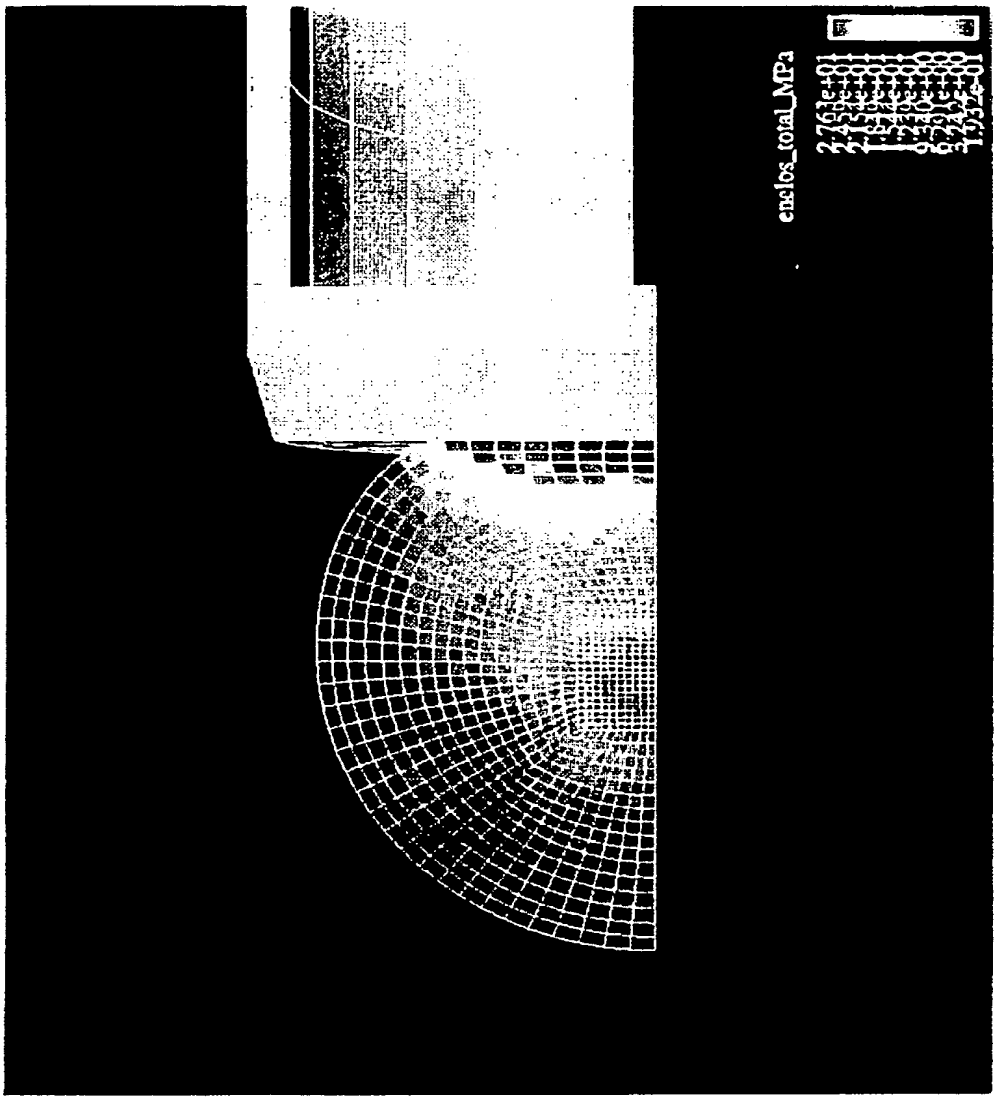
【図６】



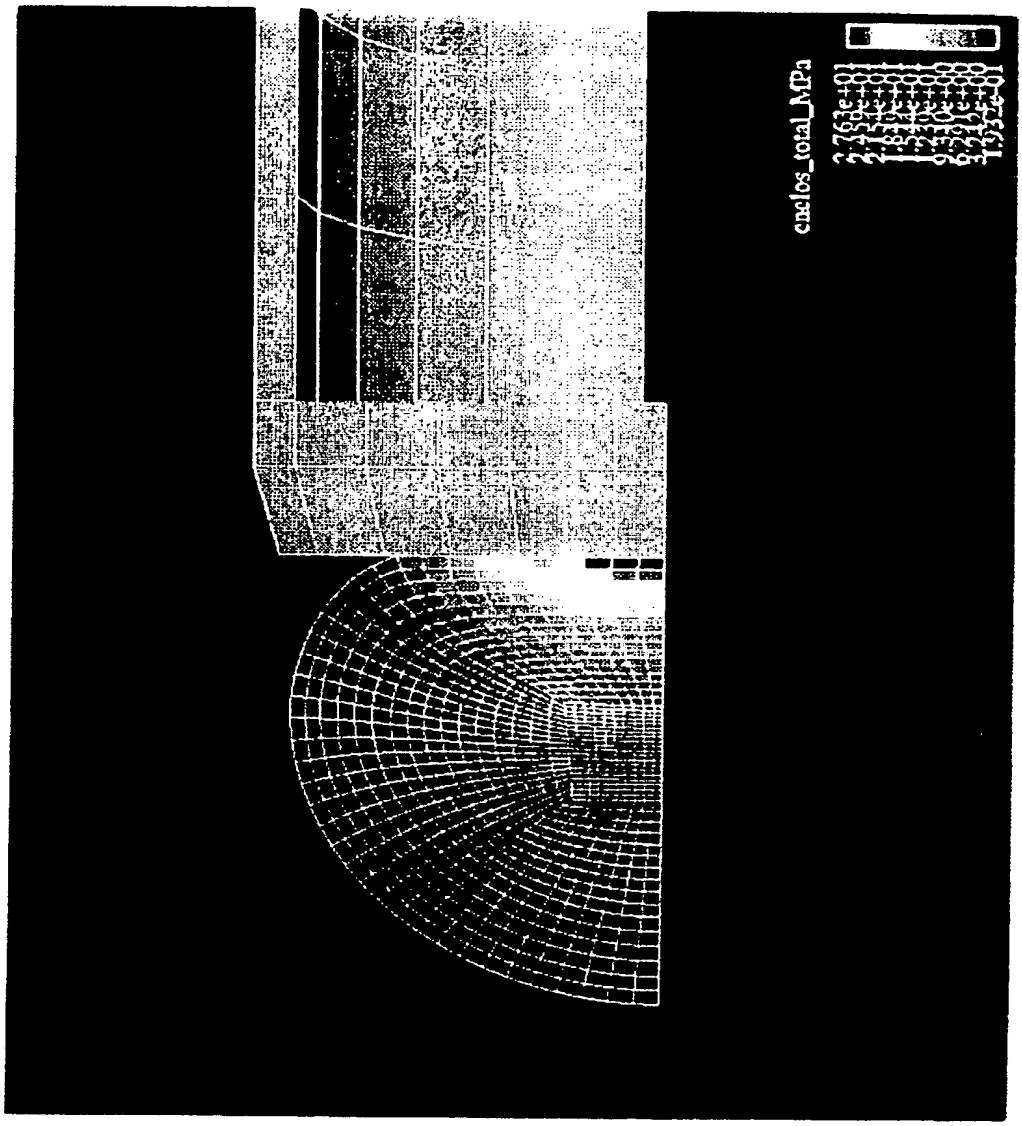
【図７】



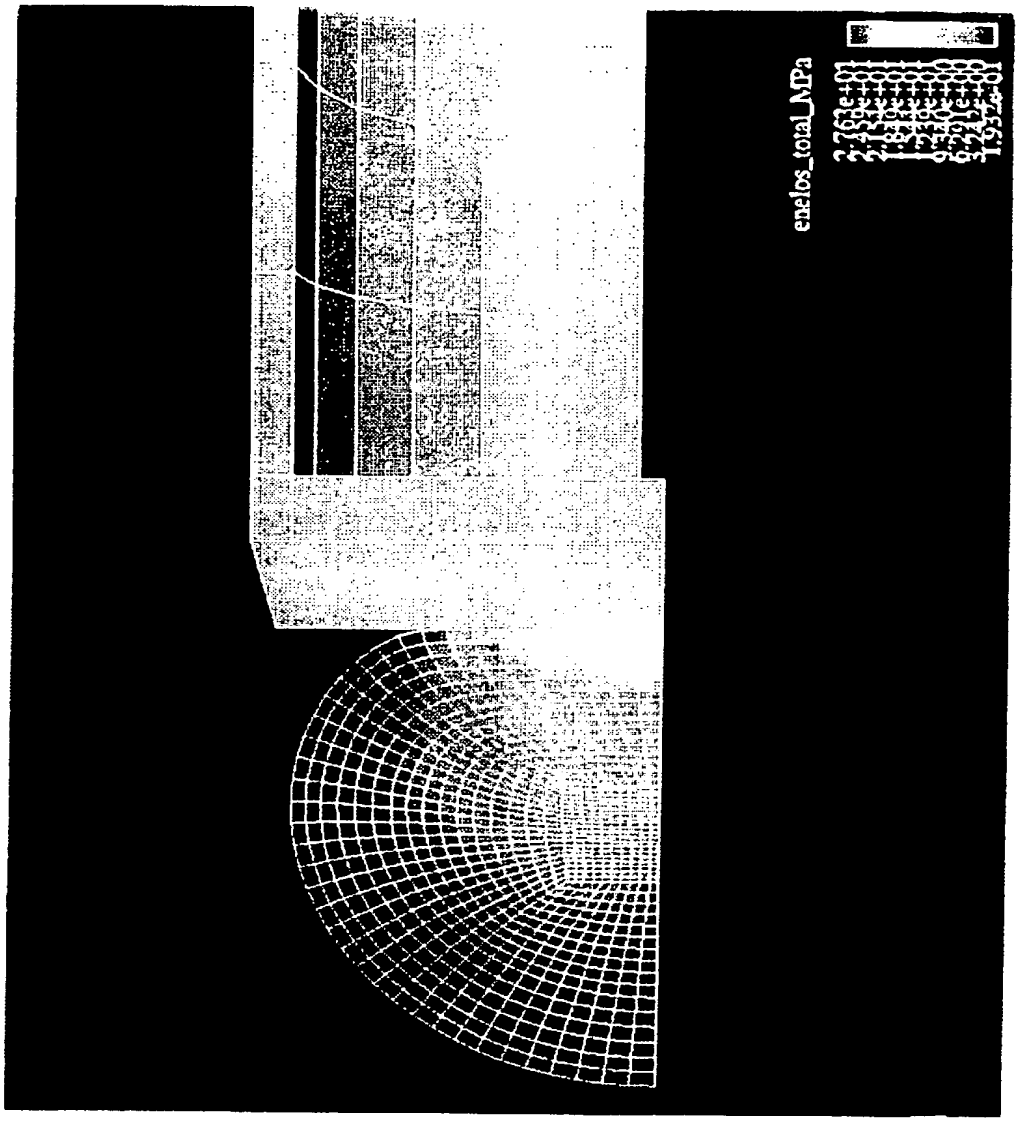
【図８】



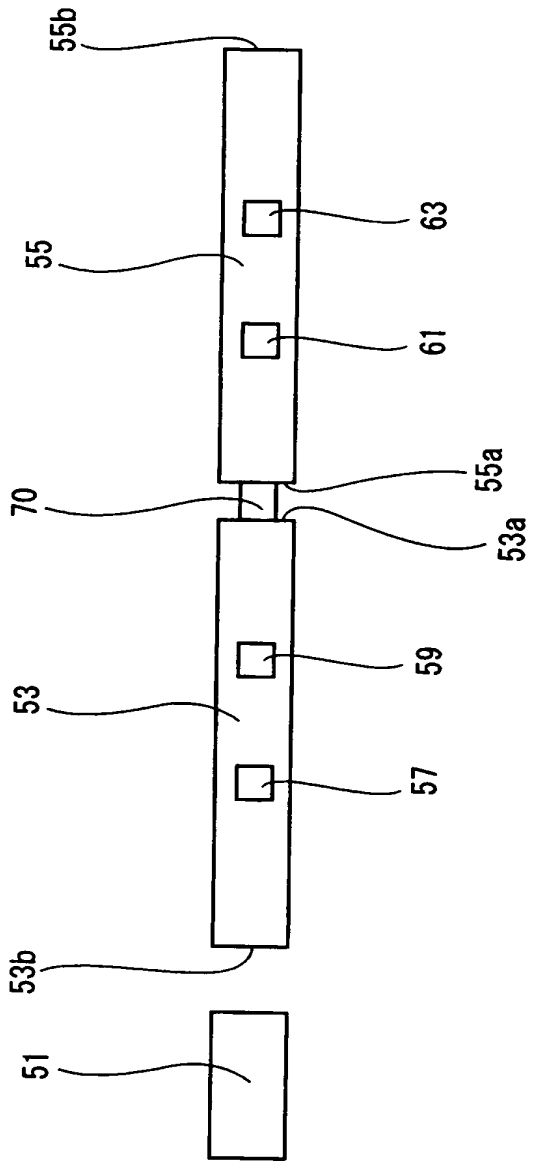
【図９】



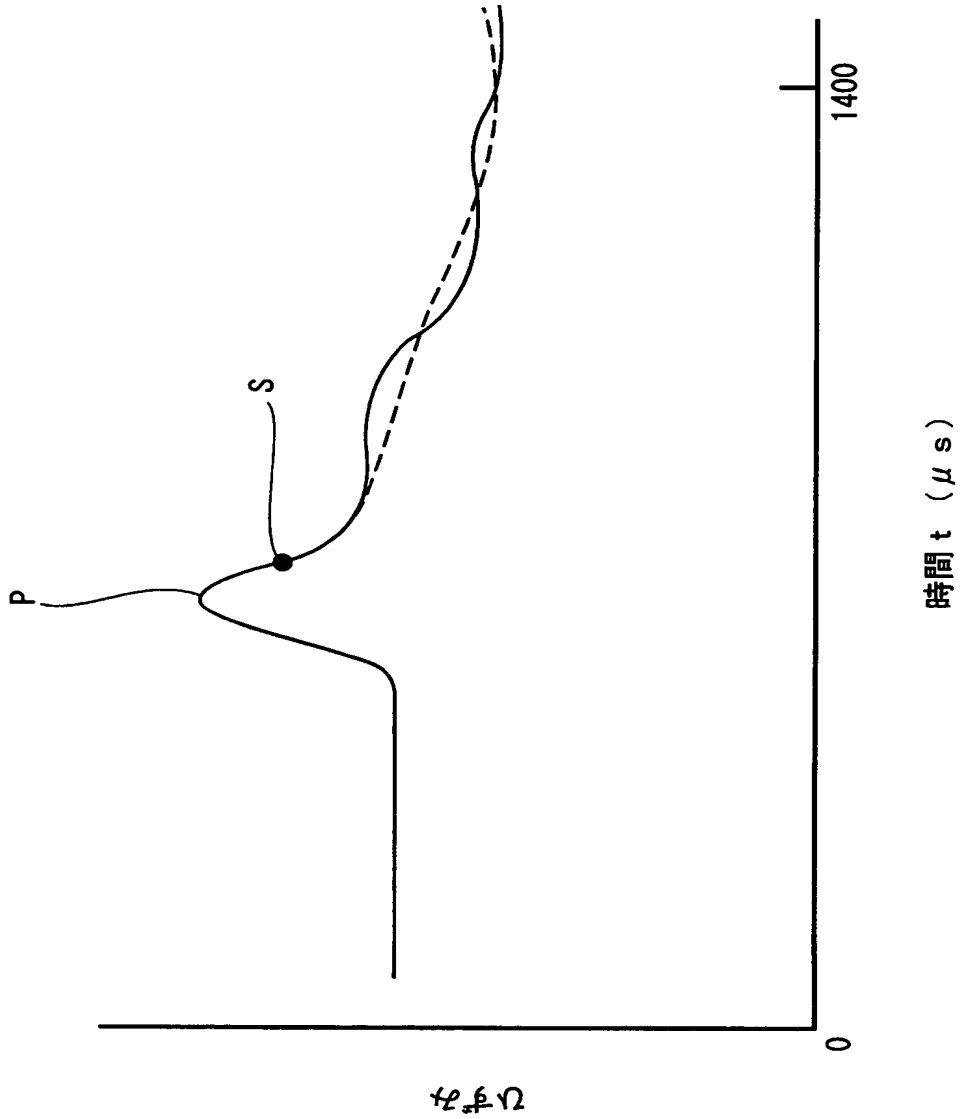
【図１０】


enelos_total_MPa
2.760e+01
2.484e+01
2.208e+01
1.932e+01
1.656e+01
1.380e+01
1.104e+01
8.280e+00
5.520e+00
2.760e+00
0.000e+00

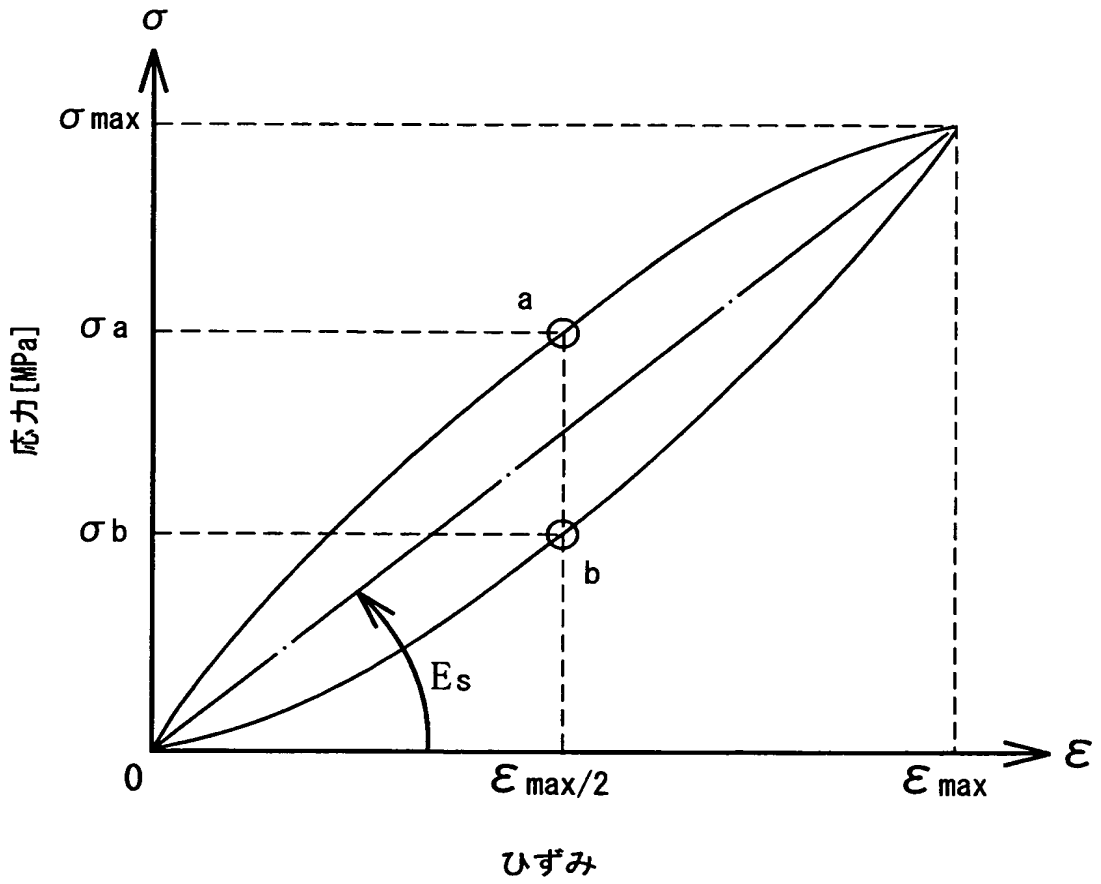
【図１１】



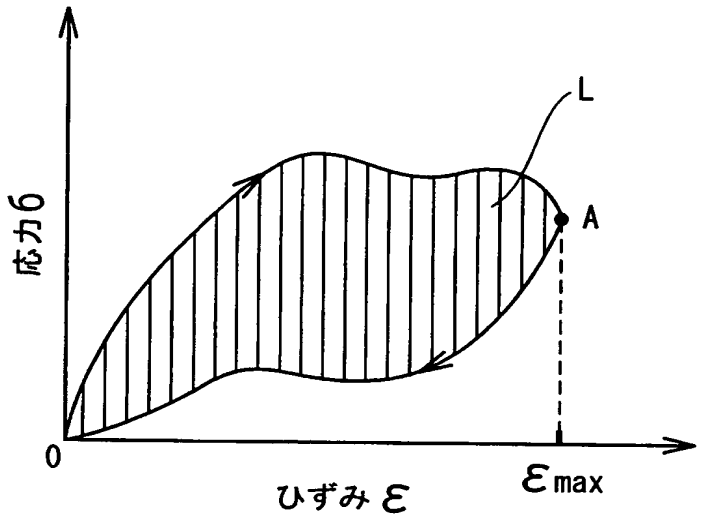
【図１２】



【図１３】

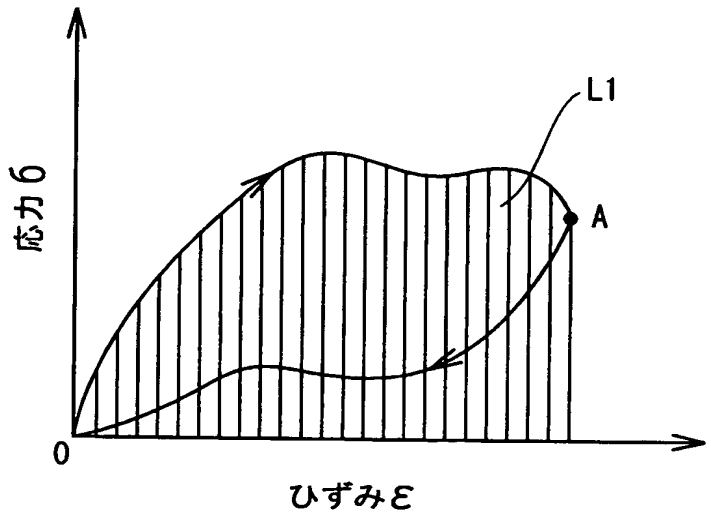


【図１４】

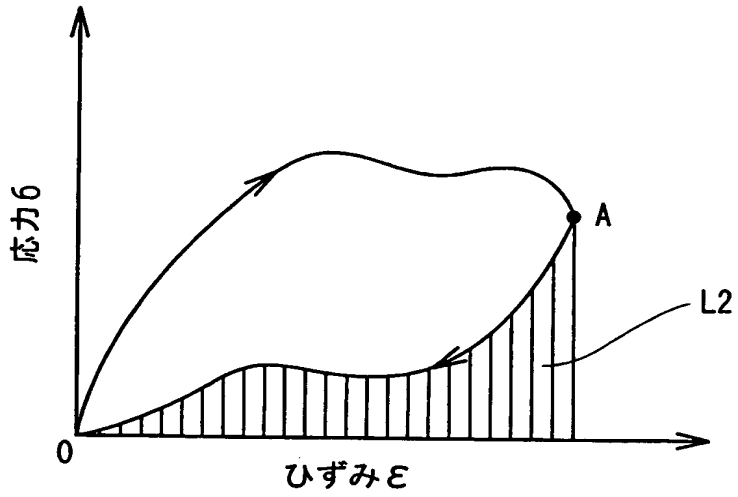


【図１５】

（Ａ）



（Ｂ）



【書類名】　要約書

【要約】

【課題】　粘弾性材料の動的挙動時の時々刻々でのエネルギーロスを算出可能とし、打撃時にゴルフボール内部に生じるエネルギーロスを時々刻々に可視化し、ゴルフボール等の粘弾性材料からなる製品の設計効率を向上する。

【解決手段】　粘弾性材料で構成される解析対象物について数値解析手法で動的挙動の解析を行い、解析対象物の粘性成分により、動的挙動時に粘弾性材料が損失するエネルギーロスを時々刻々で算出する。ゴルフボールの打撃シミュレーションにて、この算出方法により算出されたエネルギーロスを可視化し、ゴルフボールに生じるエネルギーロスを時々刻々で評価する。

【選択図】　図２

特願２００２－２９８６５３

出　願　人　履　歴　情　報

識別番号　　［０００１８３２３３］

１．変更年月日　　１９９０年　８月２４日
［変更理由］　　新規登録
住　所　　兵庫県神戸市中央区筒井町１丁目１番１号
氏　名　　住友ゴム工業株式会社

２．変更年月日　　１９９４年　８月１７日
［変更理由］　　住所変更
住　所　　兵庫県神戸市中央区脇浜町３丁目６番９号
氏　名　　住友ゴム工業株式会社